

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-016935

(43)Date of publication of application : 17.01.1997

(51)Int.Cl.

G11B 5/66

G11B 5/39

G11B 20/14

(21)Application number : 07-160521

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 27.06.1995

(72)Inventor : YAMAMOTO TOMOO

INABA NOBUYUKI

IGARASHI KAZUSUKATSU

FUTAMOTO MASAACKI

HOSOE YUZURU

TAMAI ICHIRO

MANGYO EMI

YAMANAKA ICHISUKE

(54) MAGNETIC STORAGE DEVICE AND MAGNETIC RECORDING MEDIUM

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain a magnetic storage device and a magnetic recording medium capable of recording and reproduction at high recording density of ≥ 1 gigabit per 1in^2 and having high reliability.

CONSTITUTION: The magnetic layer of a magnetic recording medium is made of a mixture of at least one kind of nonmagnetic compd. selected from among oxides and nitrides with a magnetic material contg. Co and Pt as principal components, and the molar ratio of Pt to Co in the magnetic layer is regulated to 0.6-1.2. A magnetoresistance effect type magnetic head for reproduction is adopted. A high S-N ratio and a low bit error rate are ensured and $\geq 150,000\text{hr}$ average trouble interval at high recording density of 1 gigabit per 1in^2 can be attained.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

10.03.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-16935

(43) 公開日 平成9年(1997)1月17日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 1 1 B 5/66			G 1 1 B 5/66	
5/39			5/39	
20/14	3 4 1	9463-5D	20/14	3 4 1 A

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平7-160521

(22) 出願日 平成7年(1995)6月27日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 山本 朋生

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 稲葉 信幸

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 五十嵐 万壽和

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 弁理士 有近 紳志郎

最終頁に続く

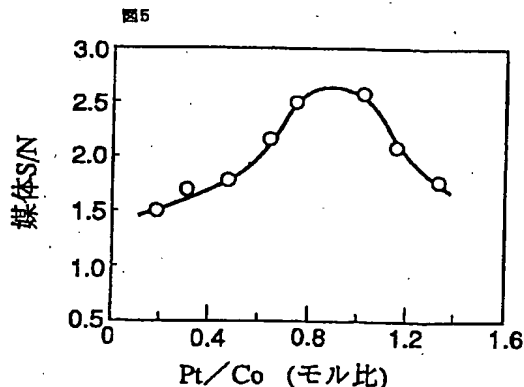
(54) 【発明の名称】 磁気記憶装置および磁気記録媒体

(57) 【要約】

【目的】 1平方インチ当たり1ギガビット以上の高記録密度の記録再生が可能で信頼性の高い磁気記憶装置および磁気記録媒体を提供する。

【構成】 磁気記録媒体の磁性層を、酸化物および窒化物からなる群から選ばれた少なくとも1種の非磁性化合物およびCoとPtを主成分とする磁性材料の混合物で構成し、且つ、当該磁性層中のCoに対するPtのモル比を0.6以上、1.2以下とする。また、磁気抵抗効果型の再生用の磁気ヘッドを採用する。

【効果】 高いS/Nと低いビットエラーレートが得られ、1平方インチ当たり1ギガビットの高記録密度で15万時間以上の平均故障間隔を実現できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に直接もしくは下地層を介して磁性層が形成された磁気記録媒体と、その磁気記録媒体に対する記録と再生を行う磁気ヘッドとを具備する磁気記憶装置において、

前記磁気記録媒体の磁性層が酸化物および窒化物からなる群から選ばれた少なくとも1種の非磁性化合物およびCoとPtを主成分とする磁性材料の混合物で構成され且つ当該磁性層中のCoに対するPtのモル比が0.6以上、1.2以下であり、さらに、前記磁気ヘッドが磁気抵抗効果型の再生用の磁気ヘッドを含むことを特徴とする磁気記憶装置。

【請求項2】 請求項1に記載の磁気記憶装置において、前記磁気抵抗効果型の再生用の磁気ヘッドが2枚のシールド層とそれらの間に形成された磁気抵抗センサとを有し、前記2枚のシールド層の間隔が0.35μm以下であることを特徴とする磁気記憶装置。

【請求項3】 請求項1または請求項2に記載の磁気記憶装置において、記録時における磁気記録媒体に対する磁気ヘッドの相対的な走行方向に磁界を印加して測定した残留磁束密度Brと当該磁気記録媒体の磁性層の厚さtの積Br×tが、10 Gauss・ミクロン以上、100 Gauss・ミクロン以下であることを特徴とする磁気記憶装置。

【請求項4】 請求項1から請求項3のいずれかに記載の磁気記憶装置において、記録時における磁気記録媒体に対する磁気ヘッドの相対的な走行方向に磁界を印加して測定した磁気記録媒体の保磁力が、2.4 kOe以上であることを特徴とする磁気記憶装置。

【請求項5】 請求項1から請求項4のいずれかに記載の磁気記憶装置において、前記磁気抵抗効果型の再生用の磁気ヘッドが、互いの磁化方向が外部磁界によって相対的に変化することによって大きな抵抗変化を生じる複数の磁性層と該磁性層の間に配置された非磁性層を含む磁気抵抗センサを有することを特徴とする磁気記憶装置。

【請求項6】 請求項1から請求項5のいずれかに記載の磁気記憶装置において、前記磁気記録媒体の磁性層の磁性材料が、実質的にCoとPtからなる二元合金であることを特徴とする磁気記憶装置。

【請求項7】 請求項1から請求項6のいずれかに記載の磁気記憶装置において、前記磁気記録媒体の磁性層の非磁性化合物が、一般式MO_x (MはSi, Al, Ta, Y, Tiから選ばれた少なくとも1種の元素を表し、xは約1以上かつ約2.5以下の数値を表す) で表される酸化物であり、磁性層中のCoに対する当該非磁性化合物のモル比が0.1以上、2.8以下であることを特徴とする磁気記憶装置。

【請求項8】 請求項1から請求項6のいずれかに記載の磁気記憶装置において、前記磁気記録媒体の磁性層の

非磁性化合物が一般式L_NY (LはSi, B, Alから選ばれた少なくとも1種の元素を表し、yは約1以上かつ約1.3以下の数値を表す) で表される窒化物であり、磁性層中のCoに対する当該非磁性化合物のモル比が0.1以上、2.8以下であることを特徴とする磁気記憶装置。

【請求項9】 請求項1から請求項8のいずれかに記載の磁気記憶装置において、前記磁気記録媒体の磁性層中のCoに対する非磁性化合物のモル比が0.5以上、2.4以下であることを特徴とする磁気記憶装置。

【請求項10】 基板上に直接もしくは下地層を介して形成された磁性層を有する磁気記録媒体において、前記磁性層が酸化物および窒化物からなる群から選ばれた少なくとも1種の非磁性化合物およびCoとPtを主成分とする磁性材料の混合物で構成され且つ当該磁性層中のCoに対するPtのモル比が0.6以上、1.2以下であることを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項11】 請求項10に記載の磁気記録媒体において、前記磁性層の磁性材料が、実質的にCoとPtからなる二元合金であることを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項12】 請求項10または請求項11に記載の磁気記録媒体において、前記磁性層の非磁性化合物が、一般式MO_x (MはSi, Al, Ta, Y, Tiから選ばれた少なくとも1種の元素を表し、xは約1以上かつ約2.5以下の数値を表す) で表される酸化物であり、磁性層中のCoに対する当該非磁性化合物のモル比が0.1以上、2.8以下であることを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項13】 請求項10から請求項12のいずれかに記載の磁気記録媒体において、前記磁性層の非磁性化合物が一般式L_NY (LはSi, B, Alから選ばれた少なくとも1種の元素を表し、yは約1以上かつ約1.3以下の数値を表す) で表される窒化物であり、磁性層中のCoに対する当該非磁性化合物のモル比が0.1以上、2.8以下であることを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項14】 請求項10から請求項13のいずれかに記載の磁気記録媒体において、前記磁性層中のCoに対する非磁性化合物のモル比が0.5以上、2.4以下であることを特徴とする磁気記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、コンピュータの補助記憶装置等に用いる磁気記憶装置およびこれに用いる磁気記録媒体に関し、さらに詳しくは、1平方インチ当たり1ギガビット以上の高記録密度を有する磁気記憶装置およびこの高記録密度を実現するのに好適な磁気記録媒体に関する。

【0002】

【従来の技術】 特開平5-73880号公報には、CoCrPt磁性層に酸化シリコン、酸化ジルコニウム、酸

化タンタル、窒化シリコン、窒化ボロン、窒化チタン、窒化アルミニウムを添加した磁気記録媒体が開示されている。また、特開平5-197944号公報には、 CoNiPtMO 磁性層または CoCrPtMO 磁性層(Mは、Si, B, Zr, Al, Y, P, Ti, Sn, Inから選ばれた少なくとも一つの元素)を用いた磁気記録媒体が開示されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】上記従来の磁気記録媒体では、磁気記録媒体の磁性層中に酸化物や窒化物を添加することで、保磁力を高くし、媒体ノイズを小さくしている。しかし、本発明の発明者らの検討結果では、上記従来の磁気記録媒体を用いても、150kFCI (Flux Changes per Inch) 以上の高い線記録密度領域における媒体ノイズの低減は不十分であり、1平方インチ当たり1ギガビット以上の高記録密度を実現することが困難な問題点がある。そこで、本発明の目的は、上記従来技術の問題点を解決し、1平方インチ当たり1ギガビット以上の高記録密度を可能とした磁気記憶装置およびこの高記録密度を実現するのに好適な磁気記録媒体を提供することにある。

【0004】

【課題を解決するための手段】第1の観点では、本発明は、基板上に直接もしくは下地層を介して磁性層が形成された磁気記録媒体と、その磁気記録媒体に対する記録と再生を行う磁気ヘッドとを具備する磁気記憶装置において、前記磁気記録媒体の磁性層が酸化物および窒化物からなる群から選ばれた少なくとも1種の非磁性化合物およびCoとPtを主成分とする磁性材料の混合物で構成され且つ当該磁性層中のCoに対するPtのモル比が0.6以上、1.2以下であり、さらに、前記磁気ヘッドが磁気抵抗効果型の再生用の磁気ヘッドを含むことを特徴とする磁気記憶装置を提供する。

【0005】第2の観点では、本発明は、上記構成の磁気記憶装置において、前記磁気抵抗効果型の再生用の磁気ヘッドが2枚のシールド層とそれらの間に形成された磁気抵抗センサとを有し、前記2枚のシールド層の間隔が0.35 μm 以下であることを特徴とする磁気記憶装置を提供する。

【0006】第3の観点では、本発明は、上記構成の磁気記憶装置において、記録時における磁気記録媒体に対する磁気ヘッドの相対的な走行方向に磁界を印加して測定した残留磁束密度 B_r と当該磁気記録媒体の磁性層の厚さ t の積 $B_r \times t$ が、10 Gauss・ミクロン以上、100 Gauss・ミクロン以下であることを特徴とする磁気記憶装置を提供する。

【0007】第4の観点では、本発明は、上記構成の磁気記憶装置において、記録時における磁気記録媒体に対する磁気ヘッドの相対的な走行方向に磁界を印加して測定した磁気記録媒体の保磁力が、2.4 kOe以上であ

ることを特徴とする磁気記憶装置を提供する。

【0008】第5の観点では、本発明は、上記構成の磁気記憶装置において、前記磁気抵抗効果型の再生用の磁気ヘッドが、互いの磁化方向が外部磁界によって相対的に変化することによって大きな抵抗変化を生じる複数の磁性層と該磁性層の間に配置された非磁性層を含む磁気抵抗センサを有することを特徴とする磁気記憶装置を提供する。

【0009】第6の観点では、本発明は、上記構成の磁気記憶装置において、前記磁気記録媒体の磁性層の磁性材料が、実質的にCoとPtからなる二元合金であることを特徴とする磁気記憶装置を提供する。

【0010】第7の観点では、本発明は、上記構成の磁気記憶装置において、前記磁気記録媒体の磁性層の非磁性化合物が、一般式 MO_x (MはSi, Al, Ta, Y, Tiから選ばれた少なくとも1種の元素を表し、 x は約1以上かつ約2.5以下の数値を表す)で表される酸化物であり、磁性層中のCoに対する当該非磁性化合物のモル比が0.1以上、2.8以下であることを特徴とする磁気記憶装置を提供する。

【0011】第8の観点では、本発明は、上記構成の磁気記憶装置において、前記磁気記録媒体の磁性層の非磁性化合物が一般式 LN_y (LはSi, B, Alから選ばれた少なくとも1種の元素を表し、 y は約1以上かつ約1.3以下の数値を表す)で表される窒化物であり、磁性層中のCoに対する当該非磁性化合物のモル比が0.1以上、2.8以下であることを特徴とする磁気記憶装置を提供する。

【0012】第9の観点では、本発明は、上記構成の磁気記憶装置において、前記磁気記録媒体の磁性層中のCoに対する非磁性化合物のモル比が0.5以上、2.4以下であることを特徴とする磁気記憶装置を提供する。

【0013】第10の観点では、本発明は、基板上に直接もしくは下地層を介して形成された磁性層を有する磁気記録媒体において、前記磁性層が酸化物および窒化物からなる群から選ばれた少なくとも1種の非磁性化合物およびCoとPtを主成分とする磁性材料の混合物で構成され且つ当該磁性層中のCoに対するPtのモル比が0.6以上、1.2以下であることを特徴とする磁気記憶媒体を提供する。

【0014】第11の観点では、本発明は、上記構成の磁気記録媒体において、前記磁性層の磁性材料が、実質的にCoとPtからなる二元合金であることを特徴とする磁気記録媒体を提供する。

【0015】第12の観点では、本発明は、上記構成の磁気記録媒体において、前記磁性層の非磁性化合物が、一般式 MO_x (MはSi, Al, Ta, Y, Tiから選ばれた少なくとも1種の元素を表し、 x は約1以上かつ約2.5以下の数値を表す)で表される酸化物であり、磁性層中のCoに対する当該非磁性化合物のモル比が

0. 1以上、2. 8以下であることを特徴とする磁気記録媒体を提供する。

【0016】第13の観点では、本発明は、上記構成の磁気記録媒体において、前記磁性層の非磁性化合物が一般式 LNy (L は Si , B , Al から選ばれた少なくとも1種の元素を表し、 y は約1以上かつ約1. 3以下の数値を表す) で表される窒化物であり、磁性層中の Co に対する当該非磁性化合物のモル比が0. 1以上、2. 8以下であることを特徴とする磁気記録媒体を提供する。

【0017】第14の観点では、本発明は、上記構成の磁気記録媒体において、前記磁性層中の Co に対する非磁性化合物のモル比が0. 5以上、2. 4以下であることを特徴とする磁気記録媒体を提供する。

【0018】

【作用】本発明の発明者らは、磁性層の組成を変えた磁気記録媒体を種々作製し、磁気ヘッドと組み合わせた場合に最適な組成を探索した。また、磁気ヘッドを変えて前記磁気記録媒体と組み合わせた場合に最適な構造の磁気ヘッドを探索した。その結果、本発明の磁気記憶装置および磁気記録媒体を完成するに至った。

【0019】上記第1の観点による磁気記憶装置では、磁気記録媒体の磁性層を、酸化物および窒化物からなる群から選ばれた少なくとも1種の非磁性化合物および Co と Pt を主成分とする磁性材料の混合物で構成し、且つ、当該磁性層中の Co に対する Pt のモル比を0. 6以上、1. 2以下とした。また、磁気抵抗効果型の再生用の磁気ヘッドを採用した。磁性材料の主成分を Co と Pt にすると共にその組成比を限定し、これを磁気抵抗効果型ヘッドと組み合わせたと、媒体 S/N を約2. 0以上にすることが出来た。なお、媒体 S/N とは、媒体ノイズ (ノイズ全体から装置系のノイズを除いた値) に対する出力の比である。これにより、150kFCI以上の高い線記録密度領域における媒体ノイズが十分低減され、1平方インチ当たり1ギガビット以上の高記録密度を実現でき、ビットエラーレートの低い高信頼性の磁気記憶装置が得られた。

【0020】なお、 $CoPt$ 磁性材料中に Cr や Ni 等を添加すると、非磁性化合物の高添加濃度領域で保磁力と保磁力角型比が低下し、好ましくない。 Cr や Ni 等は、 Co 合金の結晶粒界に偏析しやすい性質を持つ。非磁性化合物を含まない Co 合金系薄膜磁気記録媒体においては、この Cr や Ni 等の粒界偏析は結晶粒間の交換相互作用を低減して、保磁力を高める効果がある。しかし、高濃度の非磁性化合物を含む磁気記録媒体では、既に非磁性化合物によって結晶粒間の交換相互作用が低減されているため、 Cr や Ni 等の添加による交換相互作用低減による高保磁力化の効果がなく、さらに、 Cr や Ni 等の元素は $CoPt$ 合金の結晶磁気異方性を低減させるからである。

【0021】上記第2の観点による磁気記憶装置では、磁気抵抗効果型ヘッドが2枚のシールド層とそれらの間に形成された磁気抵抗センサとを有する構造の場合に、2枚のシールド層の間隔を0. 35 μm 以下とした。これにより、ジッターが約15%以下となり、好適にビットの弁別ができるようになった。

【0022】上記第3の観点による磁気記憶装置では、記録時における磁気記録媒体に対する磁気ヘッドの相対的な走行方向に磁界を印加して測定した残留磁束密度 B_r と当該磁気記録媒体の磁性層の厚さ t の積 $B_r \times t$ を、10 Gauss・ミクロン以上、100 Gauss・ミクロン以下とした。これにより、ジッターが約15%以下となり、好適にビットの弁別ができるようになった。

【0023】上記第4の観点による磁気記憶装置では、記録時における磁気記録媒体に対する磁気ヘッドの相対的な走行方向に磁界を印加して測定した磁気記録媒体の保磁力を、2. 4 kOe以上とした。保磁力が2. 4 kOe以上にすると、装置 S/N が1より大きくなり、ノイズを信号より小さくできるようになる。なお、装置 S/N とは、ノイズの内の装置系のノイズに対する出力の比をいう。

【0024】上記第5の観点による磁気記憶装置では、磁気抵抗効果型ヘッドとして、互いの磁化方向が外部磁界によって相対的に変化することによって大きな抵抗変化を生じる複数の磁性層と該磁性層の間に配置された非磁性層を含む磁気抵抗センサを有する構造を採用した。これによれば、巨大磁気抵抗効果により、信号強度をさらに高めることができ、1平方インチ当たり3ギガビット以上の記録密度を持った信頼性の高い磁気記憶装置を実現することが出来る。

【0025】上記第6の観点による磁気記憶装置では、磁気記録媒体の磁性層の磁性材料として、実質的に Co と Pt からなる二元合金を用いた。従来は、磁性材料に $(Co+Pt+\alpha)$ の三元合金を用いていたが、実質的に $(Co+Pt)$ の二元合金を用いると共にその組成比を限定し、これを磁気抵抗効果型ヘッドと組み合わせたと、媒体 S/N を約2. 0以上にすることが出来た。これにより、150kFCI以上の高い線記録密度領域における媒体ノイズが十分低減され、1平方インチ当たり1ギガビット以上の高記録密度を実現できた。なお、スパッタ法等による成膜中に不可避免的に取り込まれる Ar 等の元素が磁性材料中に微量含まれていても良い。

【0026】上記第7の観点による磁気記憶装置では、磁気記録媒体の磁性層の非磁性化合物として、一般式 MOx (M は Si , Al , Ta , Y , Ti から選ばれた少なくとも1種の元素を表し、 x は約1以上かつ約2. 5以下の数値を表す) で表される酸化物を採用し、磁性層中の Co に対する当該非磁性化合物のモル比を0. 1以上、2. 8以下とした。 Co に対する酸化物のモル比を

0.1以上とすると、規格化ノイズを0.025以下にできた。なお、規格化ノイズとは、150kFCIの記録密度で信号を記録したときの媒体ノイズを10kFCIの信号出力で規格化した値をいう。また、保磁力を2.4kOe以上にできた。一方、Coに対する酸化物のモル比を2.8以下にすると、十分な出力が得られた。

【0027】上記第8の観点による磁気記憶装置では、磁気記録媒体の磁性層の非磁性化合物として、一般式 L_Ny （LはSi, B, Alから選ばれた少なくとも1種の元素を表し、yは約1以上かつ約1.3以下の数値を表す）で表される窒化物を採用し、磁性層中のCoに対する当該非磁性化合物のモル比を0.1以上、2.8以下とした。Coに対する窒化物のモル比を0.1以上とすると、規格化ノイズを0.025以下にできる。また、保磁力を2.4kOe以上にできる。一方、Coに対する窒化物のモル比を2.8以下にすると、十分な出力が得られる。

【0028】上記第9の観点による磁気記憶装置では、磁気記録媒体の磁性層中のCoに対する非磁性化合物のモル比を0.5以上、2.4以下とした。Coに対する非磁性化合物のモル比を0.5以上、2.4以下の範囲にすると、規格化ノイズを0.016以下にできる。また、保磁力を2.4kOe以上にできる。

【0029】上記第10の観点による磁気記録媒体では、磁性層を、酸化物および窒化物からなる群から選ばれた少なくとも1種の非磁性化合物およびCoとPtを主成分とする磁性材料の混合物で構成し、且つ、当該磁性層中のCoに対するPtのモル比を0.6以上、1.2以下とした。磁性材料の主成分をCoとPtにすると共にその組成比を限定したところ、媒体S/Nを約2.0以上にすることが出来た。これにより、150kFCI以上の高い線記録密度領域における媒体ノイズが十分低減され、1平方インチ当たり1ギガビット以上の高記録密度を実現できた。

【0030】上記第11の観点による磁気記録媒体では、磁性層の磁性材料として、実質的にCoとPtからなる二元合金を用いた。従来は、磁性材料に $(Co+Pt+\alpha)$ の三元合金を用いていたが、実質的に $(Co+Pt)$ の二元合金を用いると共にその組成比を限定したところ、媒体S/Nを約2.0以上にすることが出来た。これにより、150kFCI以上の高い線記録密度領域における媒体ノイズが十分低減され、1平方インチ当たり1ギガビット以上の高記録密度を実現できた。

【0031】上記第12の観点による磁気記録媒体では、磁性層の非磁性化合物として、一般式 MO_x （MはSi, Al, Ta, Y, Tiから選ばれた少なくとも1種の元素を表し、xは約1以上かつ約2.5以下の数値を表す）で表される酸化物を採用し、磁性層中のCoに対する当該非磁性化合物のモル比を0.1以上、2.8

以下とした。Coに対する酸化物のモル比を0.1以上とすると、規格化ノイズを0.025以下にできた。また、保磁力を2.4kOe以上にできた。一方、Coに対する酸化物のモル比を2.8以下にすると、十分な出力が得られた。

【0032】上記第13の観点による磁気記録媒体では、磁性層の非磁性化合物として、一般式 L_Ny （LはSi, B, Alから選ばれた少なくとも1種の元素を表し、yは約1以上かつ約1.3以下の数値を表す）で表される窒化物を採用し、磁性層中のCoに対する非磁性化合物のモル比を0.1以上、2.8以下とした。Coに対する窒化物のモル比を0.1以上とすると、規格化ノイズを0.025以下にできる。また、保磁力を2.4kOe以上にできる。一方、Coに対する窒化物のモル比を2.8以下にすると、十分な出力が得られる。

【0033】上記第14の観点による磁気記録媒体では、磁性層中のCoに対する非磁性化合物のモル比を0.5以上、2.4以下とした。Coに対する非磁性化合物のモル比を0.5以上、2.4以下の範囲にすると、規格化ノイズを0.016以下にできる。また、保磁力を2.4kOe以上にできる。

【0034】

【実施例】以下、実施例により本発明を詳細に説明する。なお、これにより本発明が限定されるものではない。

【0035】実施例1：図1の(a)および(b)に、実施例1の磁気記憶装置70の平面模式図および断面模式図を示す。磁気記憶装置70は、磁気記録媒体71と、その磁気記録媒体71を記録方向に回転させる磁気記録媒体駆動部72と、前記磁気記録媒体71に対する記録と再生を行う磁気ヘッド73と、その磁気ヘッド73を前記磁気記録媒体71に対して相対駆動する磁気ヘッド駆動部74と、記録信号や再生信号の処理を行う記録再生信号処理部75とを具備している。

【0036】図2に、前記磁気ヘッド73の構造を示す。磁気ヘッド73は、記録用の電磁誘導型磁気ヘッドと再生用の磁気抵抗効果型ヘッドとを組み合わせた録再生分離型ヘッドである。すなわち、上部記録磁極86とシールド層兼記録磁極84とでコイル85を挟んだ部分が、記録用の磁気ヘッドとして働く。また、前記シールド層兼記録磁極84と下部シールド層83とで磁気抵抗センサ82および電極ボタン87を挟んだ部分が、再生用の磁気ヘッドとして働く。前記磁気抵抗センサ82からの出力信号は、電極ボタン87を介して外部に取り出される。前記下部シールド層83は、スライダ用基体81の上に形成されている。

【0037】図3に、前記磁気抵抗センサ82の断面構造を示す。磁気抵抗センサ82は、下部シールド層83の上にギャップ層91を介して設けられており、前記ギャップ層91の上に形成された反強磁性磁区制御層92

と、その反強磁性磁区制御層92により単一磁区とされる強磁性材料の薄膜磁気抵抗性導電層93と、その薄膜磁気抵抗性導電層93の感磁部94と前記反強磁性磁区制御層92の間の交換相互作用を絶ち切るための非磁性層95と、感磁部94に対するバイアス磁界を発生するための軟磁性層97と、その軟磁性層97と前記薄膜磁気抵抗性導電層93の間の電流分流比を調節するための高抵抗層96とを含んでいる。

【0038】前記磁気ヘッド73は、次のようにして作製した。スライダ用基体81として、酸化Al・炭化Tiを主成分とする焼結体を用いた。下部シールド層83として、スパッタ法で厚さ1 μ mのNi-Fe合金膜を形成した。ギャップ層91として、スパッタ法で厚さ100nmの酸化Al膜を形成した。反強磁性磁区制御層92として、スパッタ法で厚さ20nmのNiO層を形成した。非磁性層95として、スパッタ法で厚さ2nmのNb層を形成した。薄膜磁気抵抗性導電層93として、スパッタ法で厚さ15nmのNi-Fe合金層を形成した。高抵抗層96として、スパッタ法で厚さ15nmのTa層を形成した。軟磁性層97として、スパッタ法で厚さ20nmのNi-Fe-Nb合金層を形成した。電極パタン87として、スパッタ法により厚さ100nmのCu薄膜を形成した。電極パタン87とシールド層兼記録磁極84の間には、スパッタ法で厚さ100nmの酸化Alのギャップ層98を形成した。シールド層兼記録磁極84として、スパッタ法で厚さ1 μ mのNi-Fe合金膜を形成した。コイル85として、スパッタ法で厚さ3 μ mのCu膜を形成した。上部記録磁極86として、スパッタ法で厚さ3 μ mのNi-Fe合金膜を形成した。なお、シールド層兼記録磁極84と上部記録磁極86の間にも、スパッタ法で厚さ300nmの酸化Alのギャップ層を形成した。

【0039】図4に、前記磁気記録媒体71の断面構造を示す。磁気記録媒体71は、化学強化ガラスの基板101と、酸化シリコンを添加したCo-Pt磁性材料の磁性層103と、カーボンの保護層104と、吸着性のパーフルオロアルキルポリエーテルの潤滑層105とを備えている。

【0040】前記磁気記録媒体71は、次のようにして作成した。直径2.5インチ、厚さ0.4mmのディスク状のガラスの基板101の上に、基板温度が室温、Arガス圧力が15mTorr、投入電力密度が1平方cm当たり5Wの成膜条件でRFマグネトロンスパッタリング法により、酸化シリコンを添加したCo-Pt磁性材料の厚さ25nmの磁性層103を形成した。次に、その磁性層103の上に、基板温度が150℃、Arガス圧力が5mTorr、投入電力密度が1平方cm当たり3Wの成膜条件でDCマグネトロンスパッタリング法により、カーボンの厚さ10nm~30nmの保護層104を形成した。次に、その保護層104の表面にポリスチレン

粒子を静電塗布し、これをマスクとして15nmプラズマエッチングし、保護層104の表面に微細な凹凸を形成した。最後に、保護層104の上に、ディップ法により、吸着性のパーフルオロアルキルポリエーテルの厚さ2nm~20nmの潤滑層105を形成した。

【0041】図5に、前記Co-Pt磁性材料におけるCoに対するPtのモル比と1平方インチ当たり1ギガビットの記録密度における媒体S/Nの関係を示す。なお、Coに対する酸化シリコンのモル比は0.8としている。Coに対するPtのモル比を0.6以上、1.2以下とすると、媒体S/Nを2.0以上にできる。図6に、前記Co-Pt磁性材料におけるCoに対する酸化シリコンのモル比と規格化ノイズの関係を示す。なお、Coに対するPtのモル比は約0.67としている(60at%Co-40at%Pt)。Coに対する酸化シリコンのモル比を0.1以上、2.8以下とすると、規格化ノイズを0.025以下にできる。特に、Coに対する酸化シリコンのモル比を0.5以上、2.4以下の範囲にすると、0.016以下の規格化ノイズにできる。図7に、前記Co-Pt磁性材料におけるCoに対する酸化シリコンのモル比と保磁力の関係を示す。なお、Coに対するPtのモル比は約0.67としている。Coに対する酸化シリコンのモル比を0.1以上とすると、保磁力を2.4kOe以上にできる。特に、Coに対する酸化シリコンのモル比を0.5以上、1.4以下の範囲にすると、3.0kOe以上の保磁力にできて好ましい。なお、図8に示すように、保磁力が2.4kOeよりも小さくなると、装置S/Nは1以下になり、信号よりもノイズの方が大きくなってしまふ。従って、保磁力を2.4kOe以上にする必要がある。ここで、図8は、各保磁力に対してBr \times tの異なる媒体を用いて装置S/Nを調べ、得られた最大の装置S/Nの値をプロットしたものである。

【0042】一方、Coに対する酸化シリコンのモル比を2.8よりも大きくすると、十分な出力が得られなかった。従って、Coに対する酸化シリコンのモル比は、0.1以上、2.8以下とするのが好ましい。

【0043】図9に示すように、ローパスフィルタ51、微分回路52およびパルス化回路53によって、磁気ヘッド73からの再生出力をパルス化し、ジッターメータ54によりパルス間隔 δ の変動を解析し、パルス間隔 δ の平均値に対するパルス間隔 δ の標準偏差 σ の割合をジッターとして測定した。図10に、記録時における磁気記録媒体71に対する磁気ヘッド73の相対的な走行方向に磁界を印加して測定した残留磁束密度Brと磁気記録媒体71の磁性層の厚さtの積Br \times tと一定周波数の高密度な信号を記録再生した場合の出力信号のジッターの関係を示す。Br \times tを10ガウス・ミクロン以上、100ガウス・ミクロン以下の範囲にすると、ジッターが約15%以下となり、好適にビットの弁別ができ

る。

【0044】図11に、下部シールド層83とシールド層兼記録磁極84の距離（シールド間隔）とジッターの関係を示す。シールド距離が0.35 μ m以下にすると、ジッターが約15%以下となり、好適にビットの弁別ができる。

【0045】磁性層103中のCoに対するPtのモル比を約0.67とし（60at%Co-40at%Pt）、且つ、Coに対する酸化シリコンのモル比を約0.9とした磁気記録媒体71を用いた磁気記憶装置70で、ヘッド浮上量30nm、線記録密度210kBPI、トラック密度9.6kTPIの条件で、記録再生特性を評価した。その結果、装置S/Nは1.8であった。この値は、磁性材料として60at%Co-40at%Ptの代りに73at%Co-15at%Cr-12at%Ptを用いた場合に比べて約3割高い値であった。また、磁気ヘッド73への入力信号を8-9符号変調処理して、出力信号に最尤復号処理を施すことにより、1平方インチ当たり2ギガビットの情報を記録再生することができた。また、内周から外周までのヘッドシーク試験5万回後のビットエラー数は10ビット/面以下であり、平均故障間隔MTBFで15万時間が達成できた。

【0046】なお、上記磁気抵抗センサ82の軟磁性層97の代りに永久磁石膜バイアス層を用いてもよい。また、上記磁気記録媒体71の基板101の材料として、Ti, Si, Si-C, カーボン, 結晶化ガラスあるいはセラミクス等を用いてもよい。

【0047】また、上記磁気記録媒体71の保護層104の材料として、タングステン・カーバイド、(W-Mo)-C等の炭化物、(Zr-Nb)-N、窒化シリコン等の窒化物、二酸化シリコン、ジルコニア等の酸化物、あるいはボロン、ボロン・カーバイド、二硫化モリブデン、Rh等を用いてもよい。保護層104と潤滑層105を設けると、耐摺動性、耐食性を向上できるので好ましい。また、保護層104を形成した後、微細マスク等を用いてプラズマエッチングすることで表面に微細な凹凸を形成したり、化合物、混合物のターゲットを用いて保護層表面に異相突起を生じせしめたり、熱処理によって表面に凹凸を形成すると、磁気ヘッド73と磁気記録媒体71との接触面積を低減でき、CSS (Contact Start Stop) 動作時に磁気ヘッド73が磁気記録媒体71の表面に粘着する問題が回避されるので好ましい。

【0048】実施例2：実施例1と同様の構成を持つ磁気記憶装置において、図12に示す構造を持つ磁気記録媒体71aを用いた。この磁気記録媒体71aは、下地層121を追加したこと、および、磁性層103の材料を変えたこと以外は、実施例1の磁気記録媒体71と同様の構造である。

【0049】前記下地層102は、次のようにして形成した。直径2.5インチ、厚さ0.4mmのディスク状

のガラスの基板101の上に、基板温度が室温、Arガス圧力が5mTorr、投入電力密度が1平方cm当たり7Wの成膜条件でDCマグネトロンスパッタリング法により、Crの厚さ15nmの下地層102を形成した。なお、下地層121の材料として、Ti, V, Ge, Zr, Nb, Mo, Ta, W, Ni-Pを用いてもよい。

【0050】磁性層103の材料は、52at%Co-48at%Ptに、酸化シリコン、酸化アルミ、酸化タンタル、酸化イットリウム、酸化チタンをそれぞれ添加した。

【0051】図13に、磁気記録媒体71aの組成と磁気特性と規格化ノイズの値を示す。なお、比較例として、52at%Co-48at%Ptに代えて73at%Co-15at%Cr-12at%Ptを用いた場合の結果も示した。実施例2の磁気記録媒体71aは、いずれも高い保磁力と低い規格化ノイズが得られている。これに比べて、73at%Co-15at%Cr-12at%Pt磁性材料を用いた比較例では、保磁力が低くなり、規格化ノイズは高くなっている。

【0052】図13の試料番号14の磁気記録媒体71aを用いた磁気記憶装置で、ヘッド浮上量26nm、線記録密度210kBPI、トラック密度9.6kTPIの条件で、記録再生特性を評価した。その結果、装置S/Nは1.8であった。また、磁気ヘッド73への入力信号を8-9符号変調処理して、出力信号に最尤復号処理を施すことにより、1平方インチ当たり2ギガビットの情報を記録再生することができた。また、内周から外周までのヘッドシーク試験5万回後のビットエラー数は10ビット/面以下であり、平均故障間隔MTBFで15万時間が達成できた。

【0053】なお、従来の磁気記録媒体では、下地層は磁性層の配向性を制御するために設けていたが、本発明の磁気記録媒体では、結晶粒径の制御と、基板との密着性向上と、耐食性向上のために設けられる。

【0054】実施例3：実施例2の磁気記録媒体71aの磁性層に添加する非磁性化合物として、酸化物の代りに窒化シリコン、窒化ボロン、窒化アルミをそれぞれ添加した。図14に、磁気記録媒体の組成と磁気特性と規格化ノイズの値を示す。なお、比較例として、52at%Co-48at%Ptに代えて73at%Co-15at%Cr-12at%Ptを用いた場合の結果も示した。実施例3の磁気記録媒体は、いずれも高い保磁力と低い規格化ノイズが得られている。これに比べて、73at%Co-15at%Cr-12at%Pt磁性材料を用いた比較例では、保磁力が低くなり、規格化ノイズは高くなっている。

【0055】図14の試料番号21の磁気記録媒体を用いた磁気記憶装置で、ヘッド浮上量26nm、線記録密度210kBPI、トラック密度9.6kTPIの条件で、記録再生特性を評価した。その結果、装置S/Nは1.8であった。また、磁気ヘッド73への入力信号を8-9符号変調処理して、出力信号に最尤復号処理を施

すことにより、1平方インチ当たり2ギガビットの情報
を記録再生することができた。また、内周から外周まで
のヘッドシーク試験5万回後のビットエラー数は10ビ
ット/面以下であり、平均故障間隔MTBFで15万時
間が達成できた。

【0056】実施例4：実施例1と同様の構成を持つ磁
気記憶装置において、再生用の磁気ヘッドの磁気抵抗セ
ンサ82（図3）の代りに、図15に示す磁気抵抗セン
サ82aを用いた。また、記録用の磁気ヘッドの上部記
録磁極86として、メッキ法により形成したFe-Co-Ni 10
合金膜を用いた。また、磁気記録媒体を変えた。

【0057】図15に示す磁気抵抗センサ82aは、非
磁性層133により隔てられた2つの磁性層132、1
34間の相対的な磁化方向の変化により生じる抵抗変化
（スピン・バルブ効果による磁気抵抗変化）を利用した
磁気抵抗センサである。バッファ層131は、厚さ2nm
のTi層である。第1の磁性層132は、厚さ3nm
の80at%Ni-20at%Fe合金層である。非磁性層13
3は、厚さ1.5nmのCu層である。第2の磁性層1
34は、厚さ3nmの80at%Ni-20at%Fe合金層で 20
ある。反強磁性層135は、厚さ5nmの50at%Fe-
50at%Mn合金層である。各層は、いずれもスパッタリ
ング法により形成した。

【0058】この磁気抵抗センサ82aでは、反強磁性
層135からの交換バイアス磁界によって第2の磁性層
134の磁化が一方向に固定され、磁気記録媒体71か
らの漏洩磁界によって第1の磁性層132の磁化方向が
変化して抵抗値の変化が生じる。

【0059】バッファ層131としてTiを用いること
により、第1の磁性層132および第2の磁性層134 30
の{111}結晶格子面が膜面に平行となるように配向
する。これにより、磁性層132、134間の交換相互
作用が弱められ、実施例1の磁気抵抗センサ82に比べ
て約2倍の高い感度が得られた。

【0060】また、上部記録磁極86としてメッキ法に
より形成したFe-Co-Ni合金膜を用いることによ
り、飽和磁束密度が16000 Gaussと大きくなり、実
施例3の場合に比べて重ね書き特性を約6dB改良する
ことが出来た。

【0061】磁気記録媒体は、直径1.3インチ、厚さ 40
0.4mm、表面粗さ1nmのカーボン基板の上に、52
at%Co-48at%Ptに酸化シリコンをモル比（Coに
対する酸化シリコンのモル比）1.2で添加した厚さ2
5nmの磁性層103を実施例1と同様の条件で形成
し、その上にカーボンの厚さ20nmの保護層104を
形成し、その表面にポリスチレン粒子を静電塗布し、こ
れをマスクとして13nmプラズマエッチングし、保護
層104の表面に微細な凹凸を形成し、最後に、保護層
104上に、ディップ法により吸着性のパーフルオロアル
キルポリエーテルの潤滑層105を形成した構造であ 50

る。この磁気記録媒体のディスク円周方向に磁界を印加
して測定した保磁力は2.71kOe、残留磁束密度・
総磁性層厚積 $Br \times t$ は62 Gauss・ミクロンであっ
た。

【0062】実施例4の磁気記憶装置で、ヘッド浮上量
25nm、線記録密度260kBPI、トラック密度1
1.6kTPIの条件で、記録再生特性を評価した。そ
の結果、装置S/Nは1.5であった。また、磁気ヘッ
ド73への入力信号を8-9符号変調処理して、出力信
号に最尤復号処理を施すことにより、1平方インチ当
たり3ギガビットの情報を記録再生することができた。ま
た、内周から外周までのヘッドシーク試験5万回後のビ
ットエラー数は10ビット/面以下であり、平均故障間
隔MTBFで15万時間が達成できた。

【0063】なお、磁気抵抗センサ82aにおける非磁
性層133の厚さとしては、1.5nm以上とするのが
好ましいが、あまり厚いと、記録用の磁気ヘッドと最下
層の磁性層132との間隔が大きくなるため、重ね書き
特性が劣化するので、好ましくない。特に、非磁性層を
2層構造とした場合には、非磁性層が厚くなるため、重
ね書き特性が劣化する。これを解決するためには、記録
用の磁気ヘッドの記録磁極として、従来のNi-Fe合
金よりも大きな飽和磁束密度を持つFe-Co-Ni系合
金、Fe-Si系合金等の軟磁性薄膜を用いることが有
効である。特に、飽和磁束密度が15000 Gauss以上
の軟磁性薄膜を用いたときに良好な結果が得られる。

【0064】実施例5：図16に示す磁気記録媒体71
bのように、Al-Mg合金からなる基板101と、そ
の両面に形成されたNi-P、Ni-W-P等からなる非
磁性メッキ層102と、磁性層103と、保護層104
と、潤滑層105とを含む構造としてもよい。

【0065】実施例6：図17に示す磁気記録媒体71
cのように、Al-Mg合金からなる基板101と、そ
の両面に形成されたNi-P、Ni-W-P等からなる非
磁性メッキ層102と、下地層121と、磁性層103
と、保護層104と、潤滑層105とを含む構造として
もよい。

【0066】比較例1：実施例1の磁気記録媒体71の
磁性層103の磁性材料として73at%Co-15at%Cr-
12at%Ptを用いた場合のCoに対する酸化シリコンの
モル比と規格化ノイズの関係および保磁力(Hc)との
関係を調べた。図18に破線で示すように、Coに対す
る酸化シリコンのモル比が0.1以上では、実線で示す
実施例1の磁気記録媒体71より規格化ノイズが大きくな
っている。また、図19に破線で示すように、Coに
対する酸化シリコンのモル比が0.2以上では、実線で
示す実施例1の磁気記録媒体71より保磁力が小さくな
っている。

【0067】比較例2：酸化物あるいは窒化物を添加す
る代わりに、スパッタ成膜に用いるArスパッタガスに

酸素あるいは窒素を混合したガスを用いた。これによっても保磁力をある程度増大させることが可能であった。しかし、規格化ノイズの低減効果は小さく、1平方インチ当たり1ギガビット以上の記録密度を実現することは困難であった。これは、酸素あるいは窒素混合ガスを用いた場合には、結晶粒界だけでなく、結晶粒内にも酸素あるいは窒素が取り込まれて結晶性が損なわれるためではないかと考えられる。

【0068】

【発明の効果】本発明の磁気記憶装置および磁気記録媒体によれば、高いS/Nと低いビットエラーレートが得られるので、1平方インチ当たり1ギガビット以上の高記録密度で、15万時間以上の平均故障間隔を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例1の磁気記憶装置の平面模式図および断面模式図である。

【図2】実施例1の磁気記憶装置における磁気ヘッドの構造を示す斜視図である。

【図3】実施例1の磁気記憶装置における磁気ヘッドの磁気抵抗センサの断面構造を示す模式図である。

【図4】実施例1の磁気記憶装置における磁気記録媒体の構造を示す斜視図である。

【図5】実施例1の磁気記録媒体の磁性層中のCoに対するPtのモル比と媒体S/Nの関係を示す特性図である。

【図6】実施例1の磁気記録媒体の磁性層中のCoに対する酸化シリコンのモル比と規格化ノイズの関係を示す特性図である。

【図7】実施例1の磁気記録媒体の磁性層中のCoに対する酸化シリコンのモル比と保磁力の関係を示す特性図である。

【図8】保磁力と装置S/Nの関係を示す特性図である。

【図9】ジッターの測定装置の構成図である。

【図10】Br×tとジッターの関係を示す特性図である。

【図11】シールド間隔とジッターの関係を示す特性図である。

【図12】実施例2の磁気記憶装置における磁気記録媒体の構造を示す斜視図である。

【図13】実施例2の磁気記録媒体の添加酸化物と保磁力と規格化ノイズの関係を示す図表である。

【図14】実施例3の磁気記録媒体の添加窒化物と保磁力と規格化ノイズの関係を示す図表である。

【図15】実施例4の磁気記憶装置における磁気ヘッドの磁気抵抗センサの断面構造を示す模式図である。

【図16】実施例5の磁気記憶装置における磁気記録媒体の構造を示す斜視図である。

【図17】実施例6の磁気記憶装置における磁気記録媒体の構造を示す斜視図である。

【図18】比較例の磁気記録媒体の磁性層中のCoに対する酸化シリコンのモル比と規格化ノイズの関係を示す特性図である。

【図19】比較例の磁気記録媒体の磁性層中のCoに対する酸化シリコンのモル比と保磁力の関係を示す特性図である。

【符号の説明】

70...磁気記憶装置

71...磁気記録媒体

72...磁気記録媒体駆動部

73...磁気ヘッド

74...磁気ヘッド駆動部

75...記録再生信号処理部

81...スライダ基体

82...磁気抵抗センサ

83...下部シールド層

84...シールド層兼記録磁極

85...コイル

86...上部記録磁極

87...導体層

91...ギャップ層

92...反強磁性磁区制御層

93...薄膜磁気抵抗性導電層

94...感磁部

95...非磁性層

96...高抵抗層

97...軟磁性層

101...基板

102...非磁性メッキ層

103...磁性層

104...保護層

105...潤滑層

121...下地層

131...バッファ層

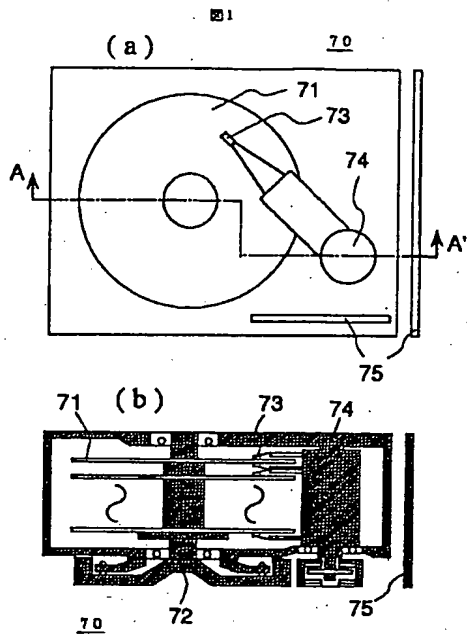
132...第1の磁性層

133...非磁性層

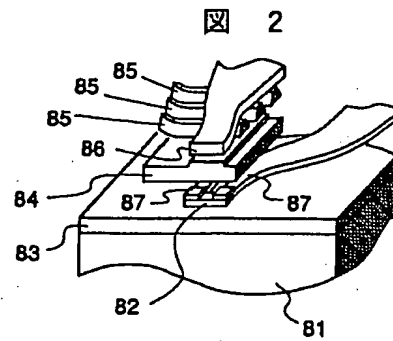
134...第2の磁性層

135...反強磁性層。

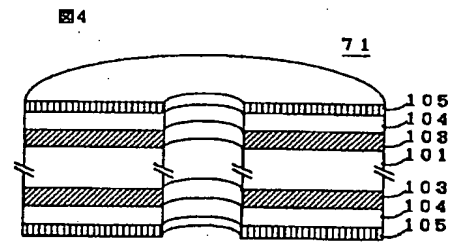
【図1】



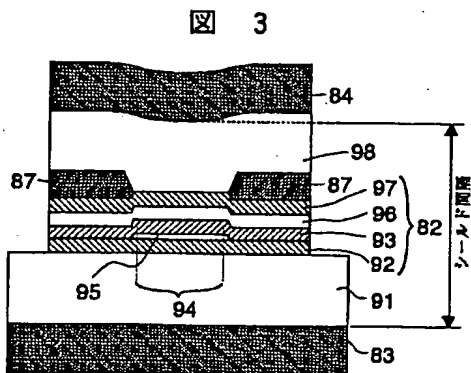
【図2】



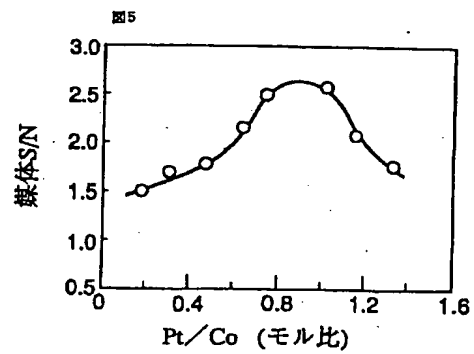
【図4】



【図3】



【図5】

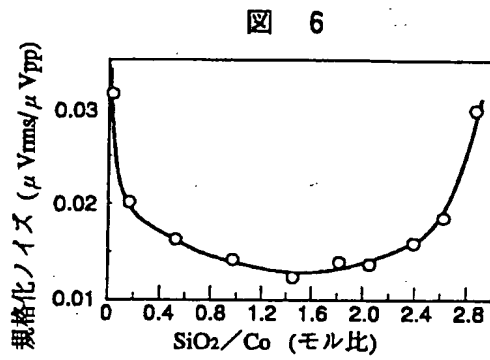


【図14】

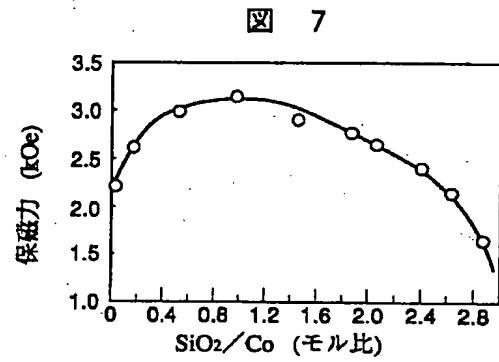
図 14

試料番号	磁性材料	酸化層	Pt/Co モル比	LP/Co モル比	Si (O ₂)	BrX ₁ (O ₂)	気格化ノイズ (μVrms/μVpp)
21	Co-48at%Pt	酸化シリコン	0.92	1.03	2.91	86	0.014
22	Co-48at%Pt	酸化ポリロン	0.92	1.01	2.86	89	0.015
23	Co-48at%Pt	酸化アルミ	0.92	1.05	2.72	91	0.017
比較 試料	Co-15at%Co -12at%Pt	酸化シリコン	0.16	1.01	1.86	87	0.024

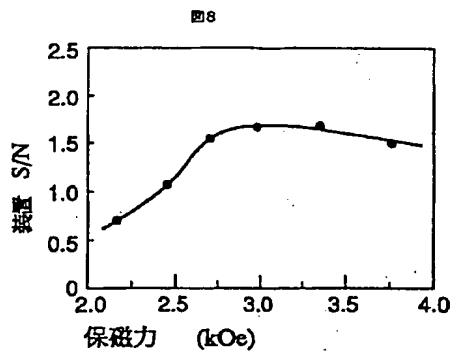
【図6】



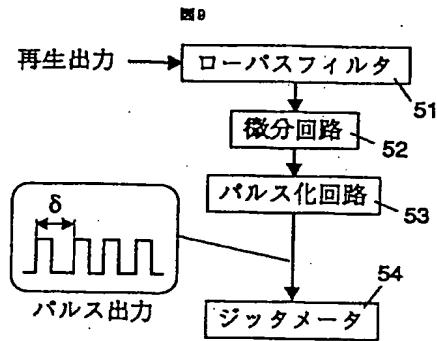
【図7】



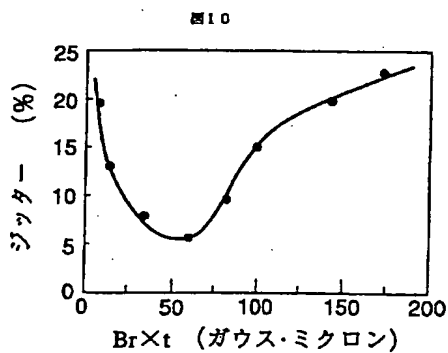
【図8】



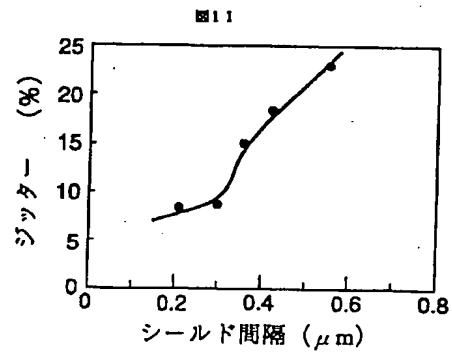
【図9】



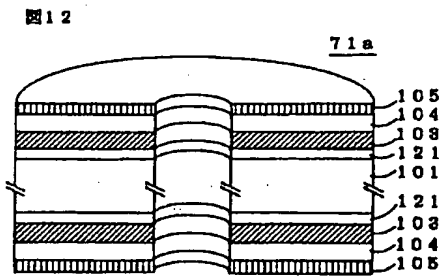
【図10】



【図11】



【図12】

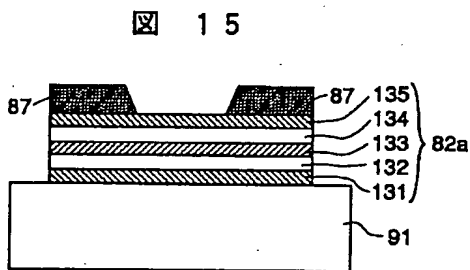


【図13】

図 13

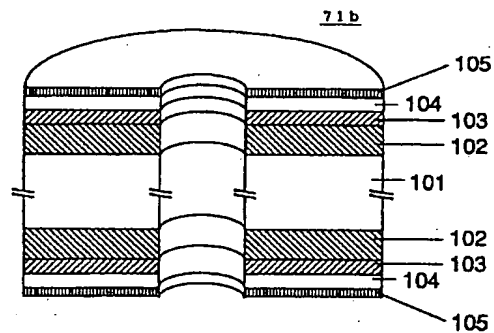
試料 番号	磁性材料	添加酸化剤	Pt/Co モル比	MoO ₃ /Co モル比	Pt (g/Co)	Br X1 (0 μm)	規格化ノイズ (μ Vrms/μ Vpp)
11	Co-48wt%Pt	酸化シリコン	0.92	1.05	3.08	87	0.013
12	Co-48wt%Pt	酸化アルミ	0.92	1.01	3.83	91	0.015
13	Co-48wt%Pt	酸化タンタル	0.92	1.07	3.72	84	0.016
14	Co-48wt%Pt	酸化イットリウム	0.92	1.01	2.68	83	0.017
15	Co-48wt%Pt	酸化チタン	0.92	1.03	2.92	89	0.014
比較 試料	Co-15wt%Cr- 12wt%Pt	酸化シリコン	0.16	1.05	3.05	83	0.021

【図15】

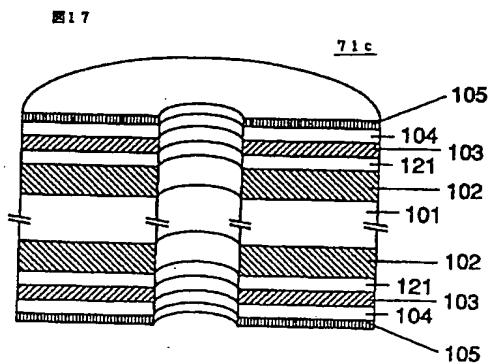


【図16】

図16

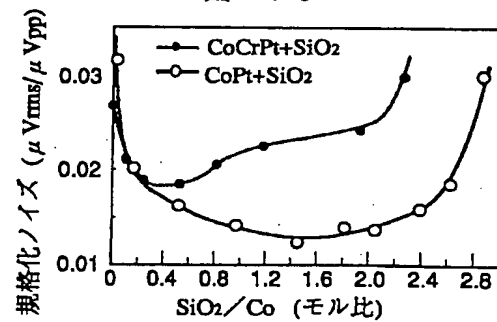


【図17】



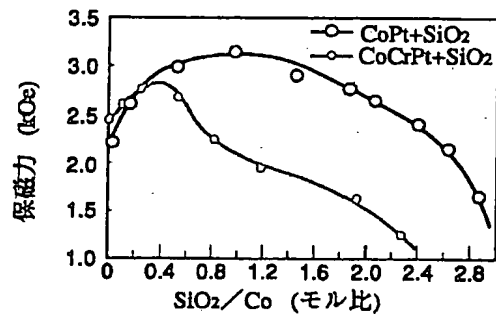
【図18】

図 18



【図19】

図 19



フロントページの続き

(72)発明者 二本 正昭

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 細江 譲

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 玉井 一郎

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 萬行 恵美

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 山中 一助

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内